

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平4-301596

(43)公開日 平成4年(1992)10月26日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 2 1 C 7/113 3/30 5/00	G D B A	7808-2G 8204-2G 7156-2G	G 2 1 C 7/10 3/30	G D B J G D B A
審査請求 未請求 請求項の数 3 (全 11 頁)				

(21)出願番号 特願平3-66620

(22)出願日 平成3年(1991)3月29日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 櫻井 俊吾

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝総合研究所内

(72)発明者 平岩 宏司

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝総合研究所内

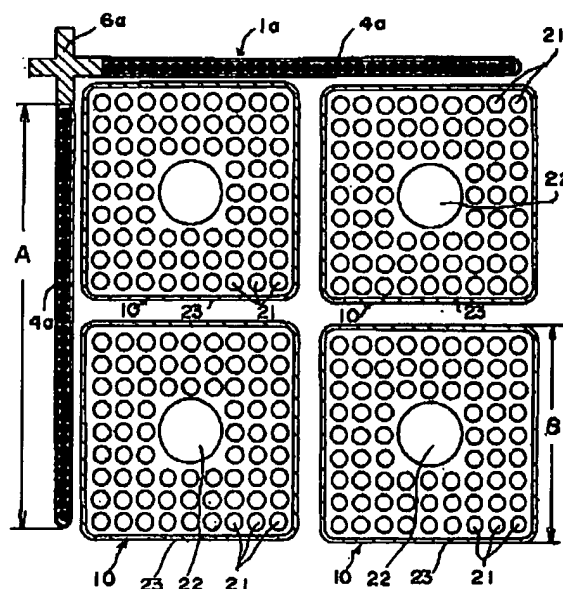
(74)代理人 弁理士 猪股 祥晃

(54)【発明の名称】 原子炉用制御棒、燃料集合体およびその原子炉炉心

(57)【要約】

【目的】制御棒の本数を減らし、また、制御棒操作によっても熱的に厳しくならない大型燃料集合体の構造および炉心配置を得る。

【構成】十字型制御棒ブレード1aの一边の幅Aが燃料集合体10aの角筒状チャンネルボックス23の1辺の幅Bより長い十字型制御棒を構成する。この制御棒に隣接する1辺が熱中性子拡散距離Lの2倍以上の燃料集合体の無限増倍率を、制御棒に隣接しない位置の燃料集合体の無限増倍率より低くなるように配置する炉心を構成する。また、1辺がLの2倍以上の部分集合体を1単位としてM行M列(Mは2以上の整数)の正方格子状に配列し、これらを角筒状のチャンネルボックスに収容して大型燃料集合体を構成する。さらに、炉心の最外周に位置する1辺がLの2倍以上の燃料集合体の無限増倍率を、炉心の最外周に位置しない燃料集合体の無限増倍率より低くなるように配置した炉心を構成する。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 先端構造材と末端構造材とを中央構造材によって結合し、この中央構造材に放射状に張出された深いU字状断面を有する制御棒ブレードを固設し、この制御棒ブレード内に中性子吸収材を充填してなる原子炉用制御棒において、前記制御棒ブレードの幅は8×8本の燃料棒が配置された燃料集合体の正方角筒状チャンネルボックスの一辺の幅よりも長く形成されていることを特徴とする原子炉用制御棒。

【請求項2】 一辺が熱中性子の拡散距離(L)の2倍以上の部分集合体を1単位としてM行M列(Mは2以上の整数)の正方格子状に配列し、これら部分集合体を大型角筒状のチャンネルボックス内に収容し大型燃料集合体を構成してなり、前記部分集合体は第1または複数のチャンネルボックスあるいは一対の板状構造物によって区画された区画内に多数本の燃料棒が規則正しく配列して収容され、前記燃料棒の一部がウォータロッドで置き代ったものであることを特徴とする燃料集合体。

【請求項3】 先端構造材と末端構造材とを中央構造材によって結合し、この中央構造材に放射状に張設された深いU字状断面を有する制御棒ブレードを固設し、この制御棒ブレード内に中性子吸収材を充填し、前記制御棒ブレードの幅は8×8本の燃料棒が配置された燃料集合体の正方角筒状チャンネルボックスの一辺の幅よりも長く形成されている制御棒と、一辺が熱中性子の拡散距離(L)の2倍以上の部分集合体を1単位としてM行M列(Mは2以上の整数)の正方格子状に配列し、これら部分集合体を正方角筒状の第2のチャンネルボックス内に収容し、前記部分集合体は第1または複数のチャンネルボックスあるいは一対の板状構造物によって区画された区画内に多数本の燃料棒が規則正しく配列して収容され前記燃料棒の一部がウォータロッドで置き代った燃料集合体とからなり、前記制御棒に隣接する一辺が熱中性子の拡散距離(L)の2倍以上の燃料集合体の無限増倍率を前記制御棒に隣接しない位置の燃料集合体の無限増倍率より低くなるように配置したことを特徴とする原子炉炉心。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】 【発明の目的】

## 【0002】

【産業上の利用分野】 本発明は沸騰水型原子炉などの軽水炉の大型化に伴って改良された十字型制御棒、燃料集合体およびその原子炉炉心に関する。

## 【0003】

【従来の技術】 沸騰水型原子炉(Boiling Water Reactor: 以下、BWRと称す)用制御棒を例に図12および図14を参照しながら説明する。BWRに用いられている制御棒は図12に示したように、横断面が深いU字状の制御棒ブレード4を、横断面が十字型の中央構造材6に放射状に張出し配列して固設してなるものである。

2

【0004】 すなわち、制御棒1は中性子の吸収物質(ボイズン: 通常ボロンカーバイドB<sub>4</sub>C)を充填したボイズンチューブ5の10数本を平板状の制御棒ブレード4の内部に並べ、中央構造材6により十字断面に結合し、その上部に先端構造材としてガイドローラ3付きのハンドル2を取付け、下部に末端構造材として制御棒駆動機構ソケット8を取付けて形成したものである。この制御棒1は制御棒駆動装置ソケット8の下部に接続する制御棒駆動装置に接続して、図14に部分的に示したように4体1組の燃料集合体10、10の隙間を上下動して、炉心の反応度を制御している。ガイドローラ3は制御棒1が炉心内に装荷された4体1組の燃料集合体10の隙間に滑らかに挿入できるように設けられており、燃料集合体10に接触すると回転して摩擦を低減する。また、ハンドル2は制御棒交換などの場合に交換機で掴む部分である。切離しハンドル2aは炉心圧力容器の外部に設置されている制御棒駆動機構との切離しを行うために使用される。速度リミッタ7は万一の制御棒落下時一定以上の速度で引抜けないように制限する装置である。制御棒ブレード4にはボイズンチューブ5を冷却するために通水孔4aが設けられている。なお、符号9は下部スカートを示している。

【0005】 図14は従来の炉心内における燃料集合体10と制御棒1の配置関係を横断面で示したものである。燃料集合体10は8×8本の燃料棒21を規則的に配置して、さらに中央部の燃料棒を4本抜いて、その代りに燃料棒21より直径の太いウォータロッド22を配置し、チャンネルボックス23内に格納して形成されている。冷却材はチャンネルボックス23内の燃料棒21を冷却するために流されており、チャンネルボックス23の外側は沸騰しない冷却材が流されている。なお、前述したように燃料集合体10、10間には制御棒1が挿入される空間を有しており、また燃料集合体10は4体1組となって炉心に配置されている。

【0006】 燃料集合体の例を図13の(a)、(b)、(c)、(d)によって説明する。図13(a)は燃料集合体10の縦断面を、(b)は上部タイプレート25の平面を、(c)はスペーサ24の平面を、(d)は下部タイプレート26の断面をそれぞれ示している。

【0007】 この燃料集合体10は60本の燃料棒21と1本のウォータロッド22を規則的に配列し、図13(c)で示したスペーサ24により結束し、下端を図13(d)で示した下部タイプレート26で、上端を図13(b)で示した上部タイプレート25で固定し、これらを角筒状のチャンネルボックス23に収容している。燃料集合体10は図14に部分的に拡大して示したように4体1組となって図15に示す例のように炉心に配置される。この例では872体の燃料集合体が装荷されている。炉心で使用される制御棒1は大略燃料集合体4体1組に対して1体使用され、炉心全体では205体使用されている。

【0008】また、この制御棒1の反応度価値(あるいは吸収能力)は定格出力運転時においては、必ずしも全部を使用しなくても十分に炉心全体の反応度を制御することが可能であり、燃焼の進んだ燃料集合体4体で構成するコントロールセル27と呼ばれる特定位置にある制御棒のみを操作する例が知られている。この方法により、制御棒操作に伴う局所的な出力変化をできるだけ抑制することができる。

【0009】図15における例では25個のコントロールセル27には4年間炉心に滞在して燃焼が進み、無限増倍率が低下した4年目燃料が100体使用され構成されている。

【0010】また図示しないが、初装荷炉心と呼ぶ第1サイクル初めの未燃焼炉心の場合では、複数のウラン濃縮度の燃料集合体のうち、低い濃縮度の燃料集合体を4年目燃料集合体の代りにコントロールセル27に使用する例もある。

【0011】さらに図示しないが、炉心最外周に位置する燃料集合体を低反応度の燃料集合体とするいわゆる低漏洩炉心と呼ぶ方法が知られている。低反応度の燃料集合体としてはコントロールセル27と同様に燃焼の進んだ無限増倍率の低いものが用いられる。また、初装荷炉心では複数のウラン濃縮度の燃料集合体のうち、低い濃縮度の燃料集合体を使用する場合もある。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】定格運転中の制御棒操作は軸方向の出力歪みを生じるため、燃料集合体の平均出力の高い領域で制御棒操作を行うと出力ピークが生じる場合が多く、そのため、熱的な制限条件から制御棒の操作範囲がかなり制約を受ける。このため、平均出力の低い領域を作り、この領域で制御棒操作を行うことにより、制御棒操作範囲の制約を取り除こうとする概念がコントロールセル27である。

【0013】このコントロールセル27の構成のためには無限増倍率の低い部分集合体30を操作制御棒の周囲に選択的に配置する必要があり、炉心の燃料配置の自由度の面からは制約となっている。制約の例として以下の場合がある。

【0014】4年目燃料をコントロールセル27として使用する場合、結果として燃焼の進んだ燃料を炉心の中心部に配置することとなり、炉心の反応度の面からは損失となる。これは経済性の高い燃料装荷法であるいわゆる低漏洩炉心の考え方と逆行する。

【0015】また、燃焼が進んで反応度の低下した燃料は炉停止時の局所的な反応度調整にも使用され、炉停止余裕の改善が図られるが、コントロールセルのために反応度の低い集合体が不足する場合があります、この場合炉停止余裕の改善が困難となる。

【0016】低漏洩炉心を作成すると炉心外周部の出力が下がるため、炉心中央部の出力が上がり、チャンネル

ピーキングが増加する。この傾向は炉心が小さくなるほど、また、燃料集合体が大きくなるほど強くなる。

【0017】本発明は上記課題を解決するためになされたもので、コントロールセルによる反応度の損失が少なく、制御棒操作によっても熱的に厳しくならない大型燃料集合体およびその炉心配置を得ることができる原子炉用制御棒、燃料集合体およびその原子炉炉心を提供することにある。

【発明の構成】

【0018】

【課題を解決するための手段】第1の発明は先端構造材と末端構造材とを中央構造材によって結合し、この中央構造材に放射状に張出された深いU字状断面を有する制御棒ブレードを固設し、この制御棒ブレード内に中性子吸収材を充填してなる原子炉用制御棒において、前記制御棒ブレードの幅は8×8本の燃料棒が配置された燃料集合体の正方角筒状チャンネルボックスの一辺の幅よりも長く形成されていることを特徴とする。

【0019】第2の発明は一辺が熱中性子の拡散距離(L)の2倍以上の部分集合体を1単位としてM行M列(Mは2以上の整数)の正方格子状に配列し、これら部分集合体を大型角筒状のチャンネルボックス内に収容し大型燃料集合体を構成してなり、前記部分集合体は第1または複数のチャンネルボックスあるいは一対の板状構造物によって区画された区画内に多数本の燃料棒が規則正しく配列して収容され、前記燃料棒の一部がウォータロッドで置き代ったものであることを特徴とする。

【0020】第3の発明は先端構造材と末端構造材とを中央構造材によって結合し、この中央構造材に放射状に張設された深いU字状断面を有する制御棒ブレードを固設し、この制御棒ブレード内に中性子吸収材を充填し、前記制御棒ブレードの幅は8×8本の燃料棒が配置された燃料集合体の正方角筒状チャンネルボックスの一辺の幅よりも長く形成されている制御棒と、一辺が熱中性子の拡散距離(L)の2倍以上の部分集合体を1単位としてM行M列(Mは2以上の整数)の正方格子状に配列し、これら部分集合体を正方角筒状の第2のチャンネルボックス内に収容し、前記部分集合体は第1または複数のチャンネルボックスあるいは一対の板状構造物によって区画された区画内に多数本の燃料棒が規則正しく配列して収容され前記燃料棒の一部がウォータロッドで置き代った燃料集合体とからなり、前記制御棒に隣接する一辺が熱中性子の拡散距離(L)の2倍以上の燃料集合体の無限増倍率を前記制御棒に隣接しない位置の燃料集合体の無限増倍率より低くなるように配置したことを特徴とする。

【0021】

【作用】制御棒ブレードの幅が8×8本の燃料棒が配置された燃料集合体つまり部分集合体の角筒状チャンネルボックスの1辺の幅より長い十字型制御棒を使用し、こ

の制御棒に隣接する1辺が熱中性子拡散距離 $L$ の2倍以上の部分集合体の無限増倍率を制御棒に隣接しない位置の燃料集合体の無限増倍率より低くなるように配置する炉心とする。そして、1辺が熱中性子拡散距離 $L$ の2倍以上の部分集合体を1単位として $M$ 行 $M$ 列( $M$ は2以上の整数)の正方格子状に配列し、これらの部分集合体を大型角筒状のチャンネルボックスに収容して大型化した燃料集合体を構成する。

【0022】出力運転中に使用する制御棒に隣接する燃料集合体または部分集合体の無限増倍率を他の燃料集合体の無限増倍率より低くする手段としては、前記制御棒に隣接する1辺が熱中性子拡散距離 $L$ の2倍以上の部分集合体の燃焼度を制御棒に隣接しない位置の部分集合体の燃焼度より高くなるように配置した炉心とする。

【0023】あるいは、前記制御棒に隣接する1辺が熱中性子拡散距離 $L$ の2倍以上の部分集合体の濃縮度を制御棒に隣接しない位置の部分集合体の濃縮度より低くなるように配置することによって行う。

【0024】さらに、部分集合体を大型角筒状のチャンネルボックスに収容し、且つ部分集合体のチャンネルボックスの外部は沸騰しない単相の水とする大型化した燃料集合体を使用する。

【0025】また、炉心の外周境界に隣接する1辺が熱中性子拡散距離 $L$ の2倍以上の部分集合体の濃縮度を炉心の外周境界に隣接しない位置の部分集合体の濃縮度より低くなるように配置した炉心とする。

【0026】あるいは、炉心の最外周に位置する1辺が熱中性子拡散距離 $L$ の2倍以上の部分集合体の燃焼度を炉心の最外周に位置燃料集合体の燃焼度より高くなるように配置した炉心とする。

【0027】なお、熱中性子の拡散距離 $L$ は燃料集合体平均の熱中性子除去断面積 $\Sigma$ および熱中性子拡散係数 $D$ から次式のように表され、ウラン燃料では約2.5cm位になる。

【0028】

【数1】

$$L = \sqrt{D/\Sigma}$$

【0029】十字型制御棒ブレードの幅を $8 \times 8$ 本燃料棒を配置した燃料集合体のチャンネルボックスの1辺の幅より長くすることにより、制御棒1体当りに制御できる部分集合体の数が増加するため、運転中に操作する制御棒本数が減少し、また制御棒駆動機構の必要数が減少する。

【0030】一辺が熱中性子拡散距離 $L$ の2倍以上の部分集合体で構成される炉心において、制御棒に隣接する燃料集合体の無限増倍率を制御棒に隣接しない位置の燃料集合体の無限増倍率より低くなるように配置すると、発明者が炉心特性の詳細な計算を行ったところ、出力運転中の制御棒操作が熱的制限条件下制約を受けにくく

なる結果が得られた。

【0031】以下、この結果について説明する。燃料集合体の隣接位置に制御棒を挿入した場合の定格出力運転状態での出力分布と、また一定の燃焼後、制御棒を引抜いた場合の出力分布を評価した結果を図14の矢視A-A線上の燃料棒1から8について図17に示す。出力分布と制御棒との距離の関係は、制御棒から熱中性子拡散距離 $L$ の2倍以上の領域では出力変動が小さい。つまり、燃料棒番号3~4より右側の8辺りまでが制御棒からの距離が $2L$ 以上の範囲となる。

【0032】これはBWRを含む軽水炉の場合、熱中性子が反応の大部分を占めているため、熱中性子から見た制御棒の影響が制御棒からの距離を $x$ とすると、ほぼ $e^{-x/L}$ に比例して減衰する(図14の矢視A-A線に沿って減衰する様子を図16に示す)ことによる。従って、制御棒からの距離が熱中性子拡散距離 $L$ の2倍以上の領域では制御棒の影響は $1/7$ 以下に減衰する。これは、出力変動に換算すると10%以下の変動に相当する。この程度の変動は従来の核設計での許容範囲内にある。ゆえに、燃料集合体の大きさを熱中性子拡散距離 $L$ の2倍以上にした部分集合体を $M$ 行 $M$ 列に配置して大型化した燃料集合体を構成する場合、または単独の燃料集合体の場合、制御棒に隣接する燃料集合体に対してのみ制御棒の影響を考慮すればよい。

【0033】先に述べたように、熱中性子拡散距離 $L$ は燃料集合体平均の熱中性子拡散係数 $D$ と熱中性子除去断面積 $\Sigma$ との比の平方根であるので、プルトニウムとウランを使用した、いわゆるMOX燃料ではウランのみの場合より吸収断面積が大きいため、制御棒が影響する距離はさらに小さく3cm程度になることも分かった。また、出力変動の大きさは燃料集合体の無限増倍率に比例する。従って、制御棒による出力変動を小さくするためには、制御棒に隣接する燃料集合体の無限増倍率を小さくすればよい。燃料集合体の無限増倍率は燃焼度が大きいほど小さく、また濃縮度が低いほど小さいので、このような燃料集合体を十字型制御棒に面して配置することで達成できる。

【0034】部分集合体を複数配列してこれらを束ねてチャンネルボックスに収容して大型燃料集合体を構成することによって、外側のチャンネルボックスが十字型制御棒の挿入ガイドになる。このため、内部の部分集合体の大きさを変更しても制御棒の挿入性に影響がなくなる。

【0035】また、部分集合体のチャンネルの外側且つ大型燃料集合体の内側に非沸騰水の領域を設けることができ、熱中性子拡散距離が短くなるので、隣接する部分集合体に対する制御棒操作の影響はさらに減少する。

【0036】部分集合体を複数配列してこれらを束ねてチャンネルボックスに収容した大型燃料集合体を使用した炉心において、炉心の外周境界に隣接する部分集合体

の無限増倍率を最外周以外に位置した部分集合体よりも低くすることによって、低漏洩炉心を構成することができる。この時、図7、図9に示したように、炉心最外周の燃料集合体を構成する部分集合体のうち、炉心最外周に接する部分集合体のみ、その集合体の無限増倍率の小さいものとするにより、炉心全体の中で最外周に配置される無限増倍率の小さい部分集合体の数が減少し、径方向ピーキングが容易になる。また、それだけ炉心中央で炉停止余裕の改善や、コントロールセル構成上必要な無限増倍率の小さい部分集合体の数が増え、炉心構成の裕度が増加する。

【0037】

【実施例】本発明の第1の実施例を以下に説明する。本発明に係る第1の実施例の制御棒1aと燃料集合体10aの断面図を図1に示す。燃料集合体10aは図14に示した従来例の燃料集合体10とほぼ同様であるが、チャンネルボックス23内に72本の燃料棒21が9×9の正方格子状に配列され、また、燃料棒21の9本分の面積を占めるウォータロッド22が中央に配列されたものから構成されている。また、チャンネルボックス23の一辺の幅Bは熱中性子の拡散距離Lの約4倍である。制御棒1aの十字型ブレード4aの幅Aは燃料集合体10aのチャンネルボックス23の幅Bの約2倍である。この制御棒1aは4枚の長尺ブレード4aが中央構造材6aに十字状に取着されたものからなっている。

【0038】本実施例の制御棒1aを用いれば1本の制御棒1aで制御できる燃料集合体10aの体数が2倍になるので、従来例の制御棒に比して同一の炉心を半分の制御棒で制御できる。これにより制御棒駆動機構の数を半分に減らすことができ、コストダウンが図れる。また、原子炉圧力容器の下部の貫通口を減らすことができるので原子炉圧力容器の健全性が高まる。

【0039】図2は本発明の第1の実施例の燃料集合体10aと制御棒1aを用いた原子炉炉心の第2の実施例を示し、炉心を中心から4分割した1/4炉心部分の水平断面を示している。この実施例の炉心は、一辺が熱中性子拡散距離Lの2倍以上である燃料集合体10aで構成されている。原子炉運転時の反応度制御および出力分布制御のために使用する13本の制御棒1aに隣接する燃料集合体10aを、制御棒1aに隣接しない位置の燃料集合体10aより無限増倍率の低い部分集合体30に置き換えている。本実施例の炉心および上記制御棒1aを用いることにより、出力運転中に反応度制御および出力分布制御のために制御棒を操作しても、制御棒1aに隣接する燃料集合体の線出力密度を大きく変動させることなく実施でき、燃料被覆管の破損率が低減し、原子炉の安全性が高まる。

【0040】図3は本発明の第3の実施例である。一辺の長さが熱中性子の拡散距離Lの2倍以上の長さをもつ部分集合体20を4(2×2)体組合わせ、大型角筒状の

チャンネルボックス23aに収納して大型化した燃料集合体28を構成したものである。本第3の実施例を用いると、前述した第1の実施例に記載した制御棒1aに対して平坦なガイド面を提供でき、制御棒の挿入を高めることができる。部分集合体20は燃料棒21を3×3の小集団に分け、小集団内の燃料棒21の格子ピッチp1と小集団間の格子ピッチp2との間でp2がp1よりも大きくなるようにしてある。このようにすると、運転時の無限増倍率を大きくし、逆に低温時の無限増倍率を小さくする効果がある。これは燃料の経済性を向上させ、炉停止余裕の改善となる。この結果、大型化した燃料集合体28を一体として取扱うことができ、燃料交換作業が効率化するとともに、制御棒ガイドとしても好適となる。

【0041】図4は本発明の第4の実施例であり、第1の実施例記載の制御棒1aのうち、原子炉運転時に反応度制御および出力分布制御のために主に用いる13本の制御棒1aに面する位置に高燃焼度燃料34を装荷した炉心である。図4において、大型チャンネルボックス23a内の部分集合体の番号1は低燃焼度燃料31であり、2は中燃焼度燃料32であり、3は中燃焼度燃料33であり、4は高燃焼度燃料34をそれぞれ示している。本実施例によれば、大型化した燃料集合体を構成する部分集合体を全て同一程度の燃焼度に揃えることによって生じる径方向出力ピーキングの増大を緩和できる。また、出力運転中に使用する制御棒1aに隣接する部分集合体の制御棒操作による線出力密度の変化を第2の実施例と同様に緩和できる。さらに、大型化した燃料集合体を部分集合体から構成し、その冷却材流路を分離していることによって大型燃料集合体の取扱い効率の向上のメリットを得ながらピーキング悪化の問題を解決できる。

【0042】図5は本発明の第5の実施例であり、第1の実施例記載の制御棒1aのうち、原子炉運転時に反応度制御および出力分布制御のために主に用いる13本の制御棒1aに面する燃料集合体に高濃縮度燃料を装荷した炉心である。図5においては図4と対応しているが、部分集合体中の番号1は高濃縮度燃料35であり、2は中濃縮度燃料36であり、3は中濃縮度燃料37であり、4は低濃縮度燃料38である。本実施例によれば、初装荷炉心において前記と同じく制御棒操作による線出力密度を大きく変動させることなく実施でき、原子炉の安全性が高まる。

【0043】図6は本発明の第6の実施例である。本実施例は燃料棒21を6×6に束ね、中央部にウォータロッド22を配置した部分集合体20aを取り囲む筒型の構造物(以下、小型チャンネルボックス23cと呼ぶ)をもち、この部分集合体20aを3×3個配置し、これらの部分集合体20aを大型チャンネルボックス23bによって囲んで大型化した燃料集合体29を構成したものである。チャンネルボックス23bで包囲された領域を非沸騰水領域41とする。このように非沸騰水領域41を設けることにより、

部分集合体20a間での熱中性子拡散距離が短くなり、制御棒1aに対して2列目以上の部分集合体20aへの制御棒の影響を小さくすることができる。

【0044】図7は本発明の第7の実施例である。第3の実施例記載の大型燃料集合体28で構成されており、炉心最外周の境界面に面する燃料集合体15を無限増倍率の低い部分集合体30とした炉心である。低漏洩炉心形成のために炉心最外周の境界面に面する大型燃料集合体28内の部分集合体20aを全て無限増倍率の低い部分集合体30にすると、炉心のチャンネルピーキングを悪化させるが、本実施例によれば、最外周の大型燃料集合体の部分集合体30で無限増倍率の低い部分集合体の数が少ないので、炉心チャンネルピーキングを悪化させずに低漏洩炉心が形成できる。なお、炉心最外周に位置する部分集合体30の無限増倍率を小さくする方法としては、高燃焼度燃料34を装荷するか、または低濃縮度燃料38を装荷することによって実現できる。また、第3の方法として炉心最外周に位置する部分集合体15のみのオリフィス（図示せず）を絞り、炉心最外周に位置する燃料集合体28に流れる水の量を減らすことによって、炉心最外周の炉心平均の50%程度の出力しか出ない部分集合体の出口蒸気クオリティを他の炉心内側の部分集合体の出口蒸気クオリティと同程度にでき、炉心流量の適切な配分ができる。これができるのも大型の燃料集合体を部分集合体で構成し、冷却材流路を分離していることによる。

【0045】図8は本発明の第8の実施例における炉心の配置を平面的に示している。図中符号1aは制御棒、29は図6で示した大型燃料集合体を、30は大型燃料集合体29内の無限増倍率の低い部分集合体を示している。図から、本実施例では制御棒1aに近い部分にのみ部分集合体30を配置している。作用効果は先の実施例とほぼ同様であるのでその説明は省略する。

【0046】図9は本発明の第9の実施例における炉心の配置を平面的に示している。この実施例は大型燃料集合体29内の無限増倍率の低い部分集合体30を炉心の最外周に配列した例である。この実施例によれば、熱的に厳しくならない炉心配置を得ることができる。

【0047】本発明において、大型燃料集合体の例として二重にチャンネルボックスを有するものを示したが、本発明の実施例においては、二重にチャンネルボックスを有する必要はなく、4体の部分集合体で構成された例で説明するが、図10の第10の実施例に示すように大型チャンネルボックス23bの対面する2面を結ぶ2枚1組の板状構造物19の2組によって、燃料棒21を4体の部分集合体に区分し、2枚の板状構造物19aに挟まれる断面を非沸騰水領域とした大型燃料集合体でもよい。さらに、図11の第11の実施例に示すように大型チャンネルボックス23bの対面する2面を結ぶ板状構造物19、19の2組によって、燃料棒21を4体の部分集合体に区分した大型燃料集合体でもよい。2枚の板状構造物19、19間は非沸騰

水領域41を形成することになる。

【0048】本発明の実施態様を列記すると次のとおりである。

(1) 制御棒ブレードの幅Aは8×8本の燃料棒を配列した燃料集合体のチャンネルボックスの1辺の幅Bより長い十字型制御棒。

(2) 制御棒に隣接する部分集合体の無限増倍率を、制御棒に隣接しない位置の部分集合体の無限増倍率より低くなるように配置したことを特徴とする。

(3) 1辺が熱中性子の拡散距離Lの2倍以上の部分集合体を1単位としてM行M列（Mは2以上の整数）の正方格子状に配列し、これらを大型角筒状のチャンネルボックスに収容して構成することを特徴とする。

(4) 制御棒に隣接する1辺がLの2倍以上の部分集合体の燃焼度を、制御棒に隣接しない位置の部分集合体の燃焼度より高くなるように配置したことを特徴とする。

(5) 制御棒に隣接する1辺がLの2倍以上の部分集合体の濃縮度を、制御棒に隣接しない位置の部分集合体の濃縮度より低くなるように配置したことを特徴とする。

(6) 部分集合体を大型角筒状のチャンネルボックスに収容し、部分集合体のチャンネルボックスの外部は沸騰しない単相の水となっていることを特徴とする。

(7) 1辺がLの2倍以上の部分集合体を1単位としてM行M列（Mは2以上の整数）の正方格子状に配列し、これらを大型角筒状のチャンネルボックスに収容して構成した大型燃料集合体において、部分集合体のうち制御棒に隣接した位置の部分集合体の無限増倍率を、制御棒に隣接しない位置の部分集合体の無限増倍率より低くなるように配置したことを特徴とする。

(8) 1辺がLの2倍以上の部分集合体を1単位としてM行M列（Mは2以上の整数）の正方格子状に配列し、これらを大型角筒状のチャンネルボックスに収容して構成した燃料集合体において、部分集合体のうち炉心の最外周に位置する部分集合体の無限増倍率を、炉心の最外周以外に位置する部分集合体の無限増倍率より低くなるように配置したことを特徴とする。

【0049】

【発明の効果】本発明によれば、制御棒の本数を減らし、コントロールセルによる反応度の損失が少なく、また制御棒操作によっても熱的に厳しくならない大型燃料集合体の構造およびその炉心配置を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例における制御棒と燃料集合体の配列状態を示す横断面図。

【図2】本発明の第2の実施例を示す炉心の平面図。

【図3】本発明の第3の実施例を示す燃料集合体の横断面図。

【図4】本発明の第4の実施例を示す炉心の平面図。

【図5】本発明の第5の実施例を示す炉心の平面図。

【図6】本発明の第6の実施例を示す大型化した燃料集

11

合体の断面図。

【図7】本発明の第7の実施例を示す炉心の平面図。

【図8】本発明の第8の実施例を示す炉心の平面図。

【図9】本発明の第9の実施例を示す炉心の平面図。

【図10】本発明の第10の実施例を示す大型化した燃料集合体の断面図。

【図11】本発明の第11の実施例を示す大型化した燃料集合体の断面図。

【図12】従来例の制御棒を一部切欠して示す斜視図。

【図13】(a)は従来の燃料集合体を示す立面図、

(b)は(a)の上部タイプレートを示す平面図、

(c)は(a)のスペーサを示す平面図、(d)は

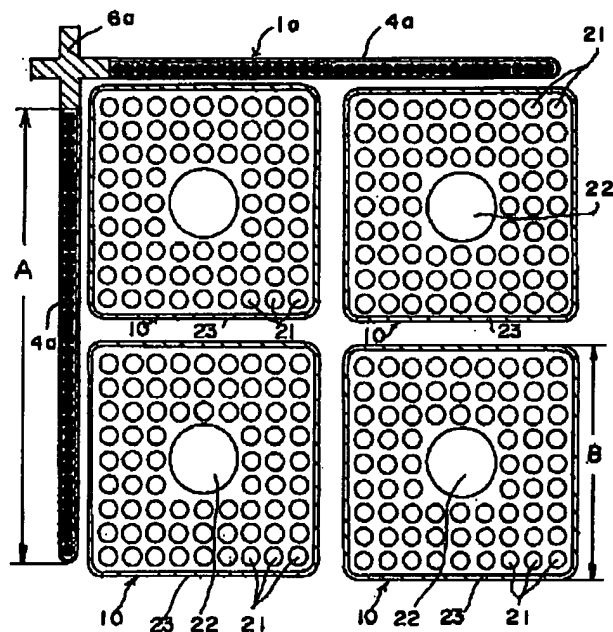
(a)の下部タイプレートを示す横断面図。

【図14】従来の燃料集合体と制御棒との配置例を示す横断面図。

【図15】従来の炉心におけるコントロールセルの配置図。

【図16】図14の矢視A-A線に沿って減衰する制御棒

【図1】



12

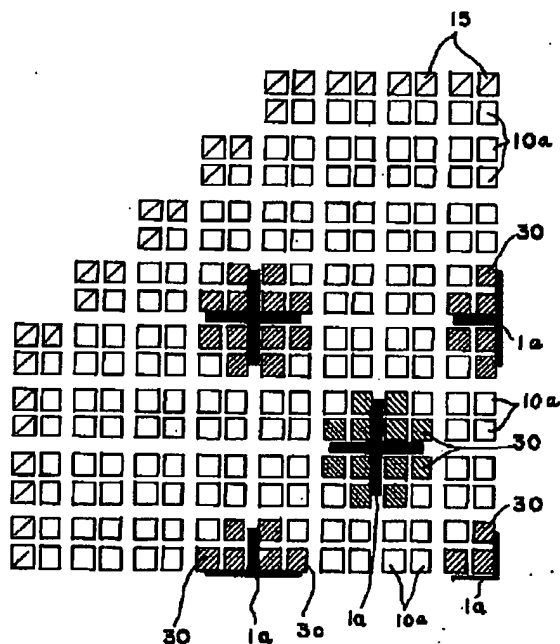
の熱中性子束分布曲線図。

【図17】制御棒の熱中性子束分布への影響を図14の矢視A-A線に沿って見た特性図。

【符号の説明】

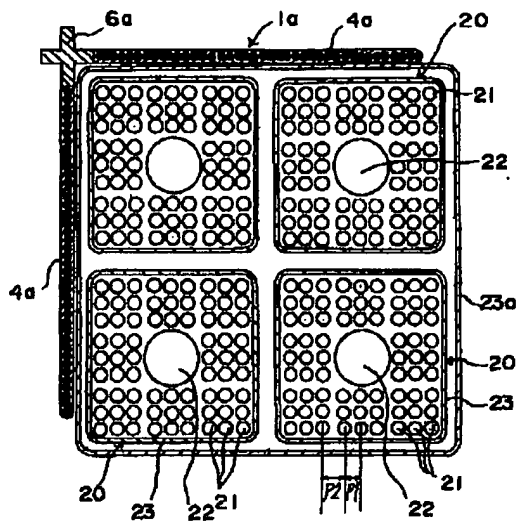
1, 1a, 1b…制御棒、2…ハンドル、3…ガイドローラ、4…制御棒ブレード、5…ボイズンチューブ、6…中央構造材、7…速度リミッタ、8…制御棒駆動装置ソケット、9…下部スカート、10, 10a…燃料集合体、14…小型チャンネルボックス、15…最外周に位置する燃料集合体、20, 20a…部分集合体、21…燃料棒、22…ウオタロッド、23…チャンネルボックス、24…スペーサ、25…上部タイプレート、26…下部タイプレート、27…コントロールセル、28, 29…大型化した燃料集合体、30…無限増倍率の低い部分集合体、31…低燃焼度燃料、32…中燃焼度燃料、33…中燃焼度燃料、34…高燃焼度燃料、35…高濃縮度燃料、36…中濃縮度燃料、37…中濃縮度燃料、38…低濃縮度燃料、41…非沸騰水領域。

【図2】

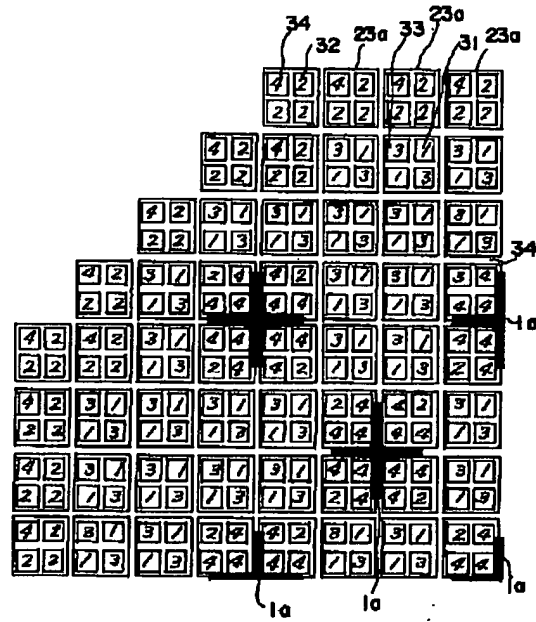




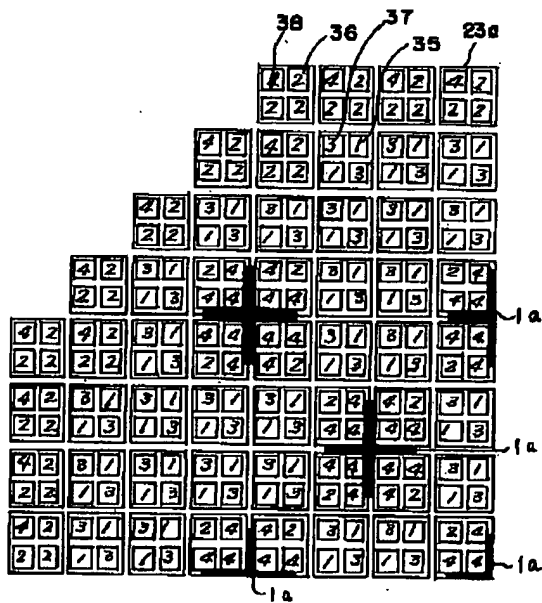
【図3】



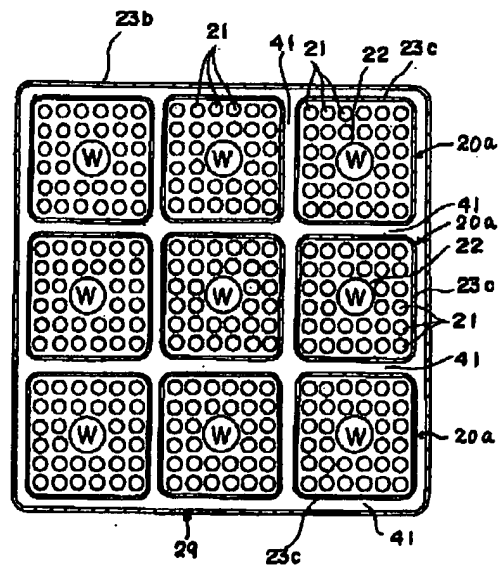
【図4】



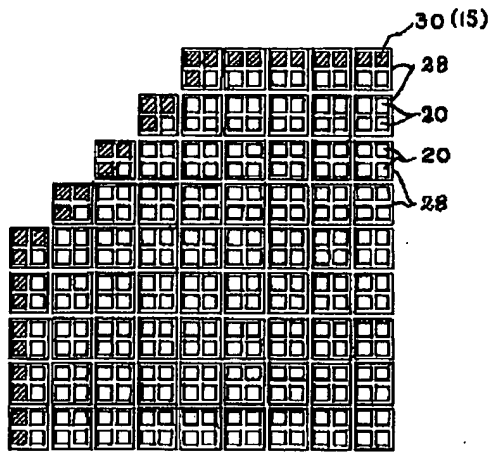
【図5】



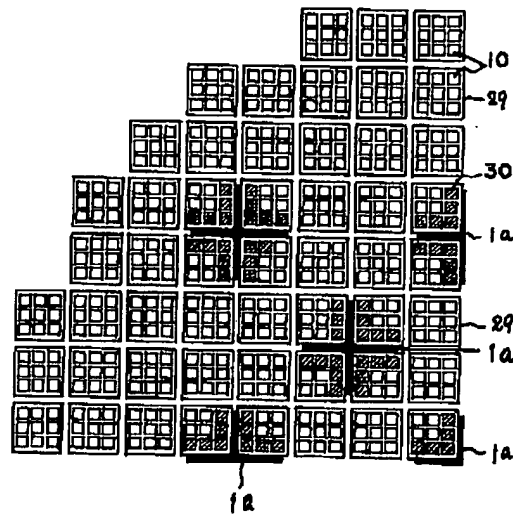
【図6】



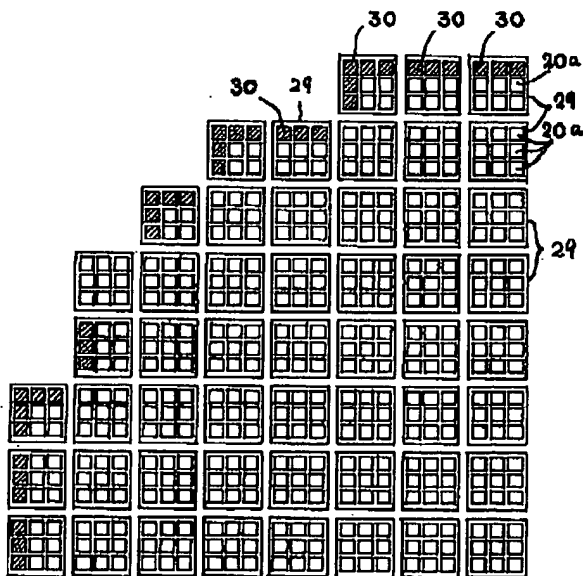
【図7】



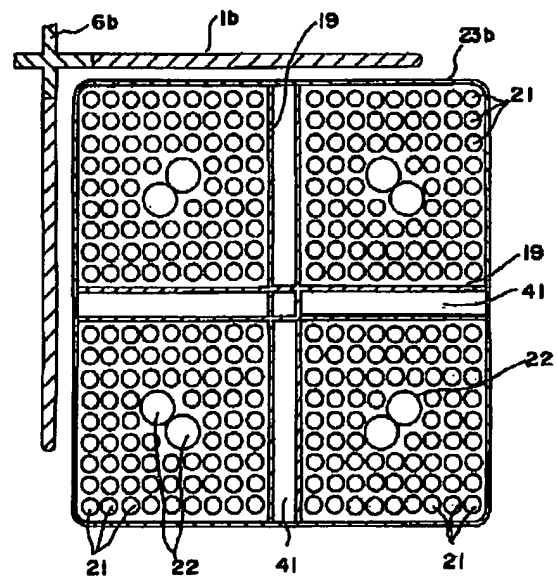
【図8】



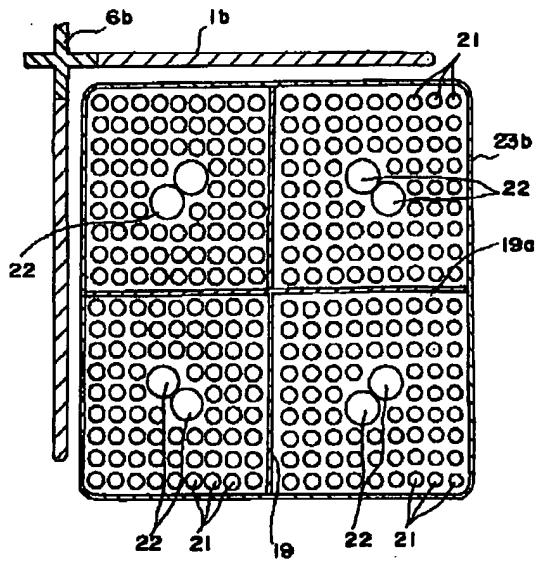
【図9】



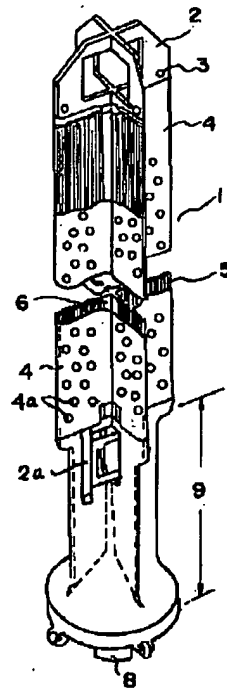
【図10】



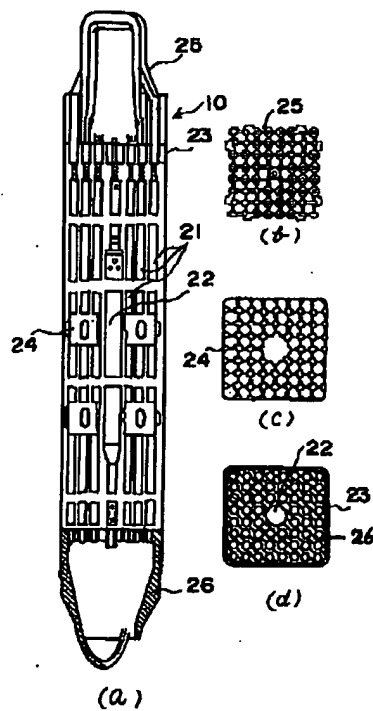
【図11】



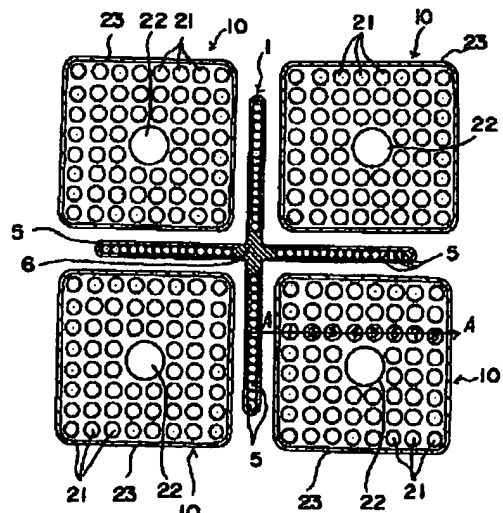
【図12】



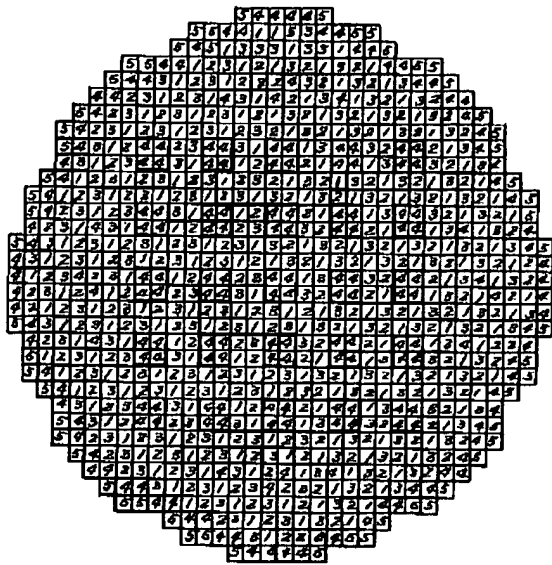
【図13】



【図14】



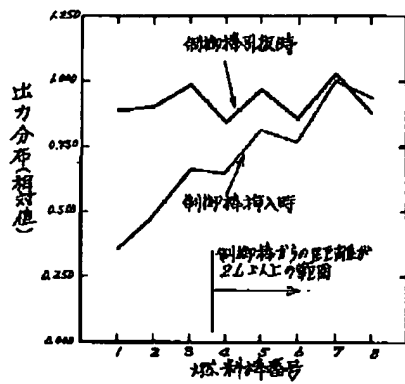
【図15】



- ① - 1年目燃料
- ② - 2年目燃料
- ③ - 3年目燃料
- ④ - 4年目燃料
- ⑤ - 5年目燃料

⊞ コントロールセル (27)

【図17】



【図16】

